

השפעת אנדו-מיקוריזה (*Glomus intraradices*) על משק המים

וסבילות למלחים בצמחי פלפל בערבה

שבתאי כהן, רבקה אופנבך, שמעון פיבוניה, רמי גולן, יורם צביאלי - מו"פ ערבה תיכונה וצפונית יורם קפולניק - המכון לגידולי שדה, מינהל המחקר החקלאי
אורי ירמיהו, אלון בן-גל - מרכז מחקר גילת, מינהל המחקר החקלאי

תקציר

דו"ח זה מסכם ניסיונות של גידול פלפל מזן סליקה תוך בחינת ההשפעות של נוכחות פטריית שורש *Glomus intraradices* בשתי רמות של דישון ושלוש רמות של השקיה. המוטיבציה בבסיס המחקר הינה שיפור ממשק הגידול וההשקיה על בסיס ממצאים קיימים שמראים שיפור יכולת קליטת מים וחומרי הזנה של צמחים שמאלחים בפטריות שורש בכלל וב- *G. intraradices* בפרט. שלוש רמות ההשקיה בניסוי היו 50, 75 ו- 100% יחסית למנת ההשקיה המומלצת על ידי שה"מ שמתבססת על נתוני אידוי מגיגית ומקדם שמשנתנה בהתאם לשלבי הגידול. טיפולי הדישון היו דישון מלא בהתאם לפרקטיקה המקובלת ודישון דל זרחן. הניסוי נערך בבית רשת 25 מש בתחנת יאיר בעונת 2007/8. הניסוי נערך בשתי חלקות שלכל אחת מהן ניתן טיפול דישון שונה ובתוכן היו ארבע חזרות של צירופי מנת השקיה ונוכחות או אי נוכחות של המיקוריזה. הגורמים שנבדקו היו יכול כללי ואחוז היבול ליצוא. נתונים אלה נאספו במהלך העונה, בדו"ח זה אנו מתייחסים רק לתוצאות המצטברות בסוף עונת הגידול. הניתוח היה ניתוח של שונות תוך התאמת מודל ליניארי כללי (GLM). ההשפעה של רמת הדישון הזרחני היו מובהקים מאד – הדישון המלא טוב יותר מהדישון דל הזרחן. בטיפול דל הזרחן לא הייתה השפעה למנת ההשקיה בניגוד ליבול הטוב יותר באופן מובהק שנתקבל בנוכחות המיקוריזה. בטיפול הדישון המלא היו השפעות מובהקות למיקוריזה ולמנת ההשקיה - בשני המקרים מתקבל יבול גבוה יותר בנוכחות הפטרייה ובהשקיה של 100% ביחס להמלצות. לא הייתה השפעת גומלין בין מנת ההשקיה לנוכחות הפטרייה – לא ניתן לפצות על גורם אחד בעזרת גורם שני. תצפית מעניינת נוספת הייתה השונות הגדולה יותר בטיפול הדישון דל הזרחן. שונות זו אינה אלא ביטוי כמותי לאי האחידות הרבה שנצפתה במהלך הגידול. בפן הכספי, נראה כי ניתן להגדיל הפדיון עקב הוספת המיקוריזה והגדלת היבול בסך של כ- 315,000 ₪ בתמורה להשקעה של 6,750 ₪ למשק פלפל ממוצע של 45 דונם.

מבוא

דו"ח זה מתייחס למטרה מספר שלוש במחקר שדנה במנת המים האופטימאלית לגידול פלפל מזן סליקה בשתי רמות של דישון (מלא ודל זרחן) ובנוכחות או אי-נוכחות פטריית המיקוריזה. המוטיבציה למחקר זה היא כפולה. מצד אחד המחסור שהולך וגדל במצאי המים לחקלאי הערבה ובעיקר הירידה המתמשכת באיכות המים ומהצד השני הסימביוזה השכיחה בטבע שבין פטריות המיקוריזה (AM) לבין צמחים עילאיים, סימביוזה שתורמת לשיפור הזנת הצמח וגדילתו. פטריות הקרקע חודרות לרקמת השורש של הצמח ויוצרות מיקוריזה (בלטינית: מיקו - פטרייה, ריזה-שורש). קורי הפטרייה גדלים בתוך שורשי הצמח וכן מחוצה לו ומגדילים כנראה את שטח

פני השורש ובכך משפרים את תהליכי הקליטה של מים ומומסים. בנוסף תורמת הפטרייה לשינוי המאזן ההורמונאלי, לשיפור מבנה הקרקע וגם מקנה עמידות כנגד פתוגנים התוקפים את השורש (כגון פוזריום, פיתיום, פיטופטורה ונמטודות).

שיפור משק המים ועמידות הצמח ליובש ומליחות תוארה בצמחי גרניים. צמחים שהודבקו באנדו-מיקוריזה היו עמידים יותר לתנאי יובש בקרקע ולמליחות מאשר צמחים אשר לא טופלו במיקוריזה (Sweatt *et al.*, 1984). בשנה האחרונה נבדקה בתחנת יאיר בערבה השפעת המיקוריזה על סבילות הצמחים לעקת מים ו/או מלח, ונמצא שיפור רב בהתפתחות וניבה של צמחים מיקוריטיים שנראו מפותחים כצמחי ההיקש (רמת זרחן גבוהה) ללא קשר למנת המים. תוצאות הניסויים המקדימים מצביעות על כך שצמחי פלפל בנוכחות מיקוריזה המושקים במים מליחים סבילים יותר ליובש ו/או למליחות המתפתחת בבית השורשים. עובדות אלו מעמידות את מערכת המיקוריזה לא רק כמקור לשיפור בקליטת המינרלים מהקרקע אלא, כמערכת אטרקטיבית שבאמצעותה יתכן וניתן יהיה לחסוך כמויות מים ניכרות בחבל ארץ ייחודי זה שרוב תוצרתו מופנית ליצוא ומקורות המים בו מתדלדלים.

חומרים ושיטות

בניסוי הזה נבחנו שלושה גורמים: (1) מידת הדישון הזרחני בשתי רמות: 1. דישון מלא ו- 2. דל זרחן. (2) מנת ההשקיה יחסית למנה המומלצת בשלוש רמות: 1. 100, 2. 75 ו- 3. 50% (טבלה 1) (3) מיקוריזה בשתי רמות: 1. עם מיקוריזה ו- 2. ללא מיקוריזה. הניסוי נערך בבית רשת אמריקאי (25 מש) בתחנת יאיר. גודל השטח: 20 מ'x25 מ'; חיטוי קרקע: מתיל ברומיד. הניסוי הינו תלת גורמי עם 12 טיפולים בארבע חזרות כל אחד. כל חלקת שקילה באורך של 4 מטר, בכל ערוגה שתי שורות גידול ובסה"כ 20 צמחים לטיפול. מנת ההשקיה של 100% נקבעה לפי המלצות שה"מ שקובעות מקדמי השקיה ביחס לנתוני ההתאדות מגיגית ובהתאם לשלב הגידול. ערכי ההתאדות מוצגים באתר מו"פ ערבה (<http://yair.arava.co.il/climatic/mclm.htm?nojump>). הדישון המלא הוא דישון רציף עם תמיסת שפר 7:3:7 כאשר טיפול הדל זרחן הינו אותה תמיסה עם ריכוז 20% של הזרחן.

השתילים הוכנו במשתלה בממשק גידול אורגני; הטענת השתילים בפטרייה המיקוריטית לטיפולים מתאימים בוצע בשלב המשתלה, כן הוסף מידבק של הפטרייה המיקוריטית בחור השתילה.

הנתונים שנאספו היו יבול כללי ואחוז היבול ליצוא. נתונים אלה נאספו במהלך העונה. בדו"ח זה מוצגים הנתונים המצטברים לעונה כולה. מבנה הניסוי הוא חלקות מפוצלות כאשר טיפולי הדישון בחלקות הראשיות כמוראה בציור 1.

טבלה 1 : מנות מים מתוכננות ובפועל בטיפולים השונים

דישון	השקיה מתוכננת	השקיה הפועל (מ"ק לדונם)
	100%	717.2
דל זרחן	75%	550.4
	50%	350.3
	100%	710.3
דישון מלא	75%	537.9
	50%	348.9

75%	100%	50%	75%	50%	100%	50%	75%	100%	75%	50%	100%
M-	M+	M-	M+	M+	M-	M+	M-	M-	M+	M-	M+
M+	M-	M+	M-	M-	M+	M-	M+	M+	M-	M+	M-

דל זרחן

50%	75%	100%	100%	75%	50%	75%	50%	100%	50%	100%	75%
M-	M+	M-	M+	M-	M+	M-	M-	M+	M+	M+	M-
M+	M-	M+	M-	M+	M-	M+	M+	M-	M-	M-	M+

דישון מלא

ציור 1 : סידור הניסוי בחממה

- מקרא : המספרים באחוזים הינם מנת ההשקיה יחסית למנה המומלצת.
M+ ו- M- הינם עם וללא מיקוריזה בהתאמה
לצרכי הניתוח הסטטיסטי מאופיין כל טיפול באמצעות שלושה מספרים באופן הבא :
- זרחן (F) : 1 - דישון מלא, 0 - דל זרחן
 - מנת מים (W) : 100%, 75% ו- 50% (ראה טבלה 01 למנות ההשקיה בפועל)
 - מיקוריזה (M) : 1 - עם מיקוריזה 0 - ללא מיקוריזה.

תוצאות וניתוח

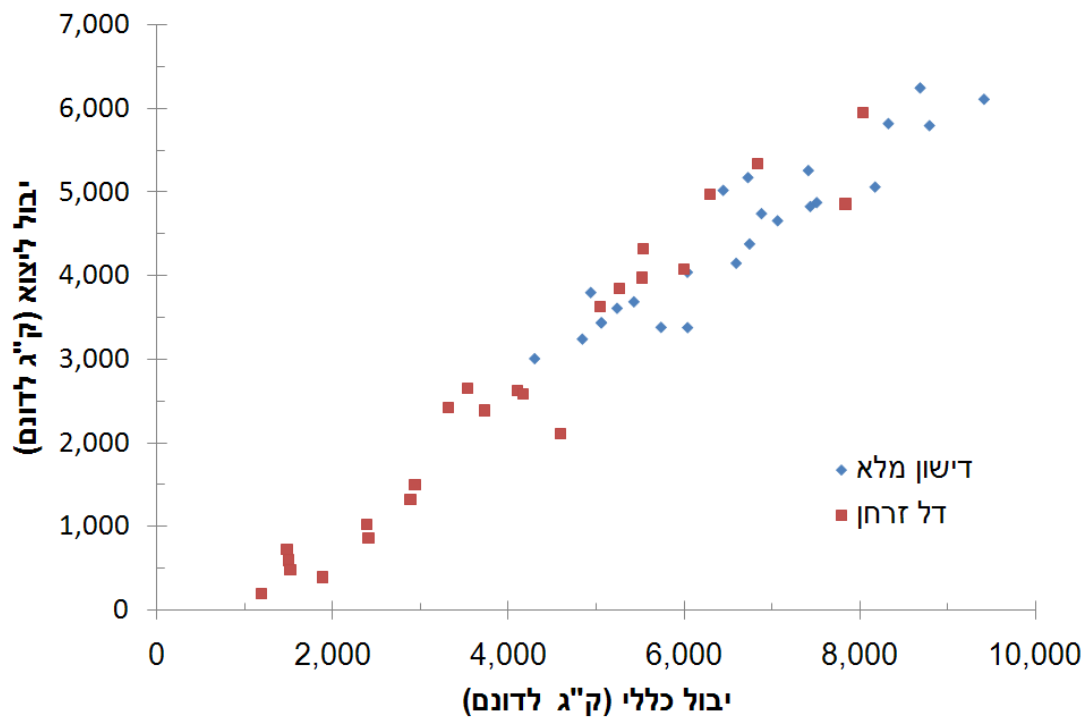
לפני שנכנסנו לעובי הניתוח של התוצאות נשאלה השאלה לגבי הקורלציה בין התוצאות שנתקבלו עבור היבול הכללי, אחוזי היבול ליצוא והיבול ליצוא. (Pearson Correlations). הניתוח בטבלה 2 מראה תלות ליניארית מובהקת בין שלושת הנבדקים. ראוי לציון ההבדל במקדם ההתאמה שהוא 0.97 בין היבול הכללי ליבול ליצוא לעומת 0.66 בין היבול הכללי לאחוז היצוא. הבדל זה ייחקר בהמשך כאשר נבצע את הניתוחים הסטטיסטיים בנפרד בהתייחס ליבול הכללי ובהתייחס לאחוז היבול ליצוא.

טבלה 2 : מקדם קורלציה Pearson בין היבול הכללי, אחוז היצוא והיבול ליצוא (ק"ג לדונם).

	Pearson Correlations		
	Y (kg)	Export (%)	Export (kg)
Y (kg)	1.00	0.66**	0.97**
Export (%)		1.00	0.78**
Export (kg)			1.00

** - Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

תיאור גרפי של פיזור היבול ליצוא כתלות ביבול הכללי תוך התייחסות נפרדת לטיפולי הדישון המלא ולדל זרחן מוצגת בציר 2. מתוך ציור זה ניתן להבין את התלות הליניארית שנתקבלה בערך מקדם קורלציה של 97% בין היבול הכללי ליבול ליצוא.

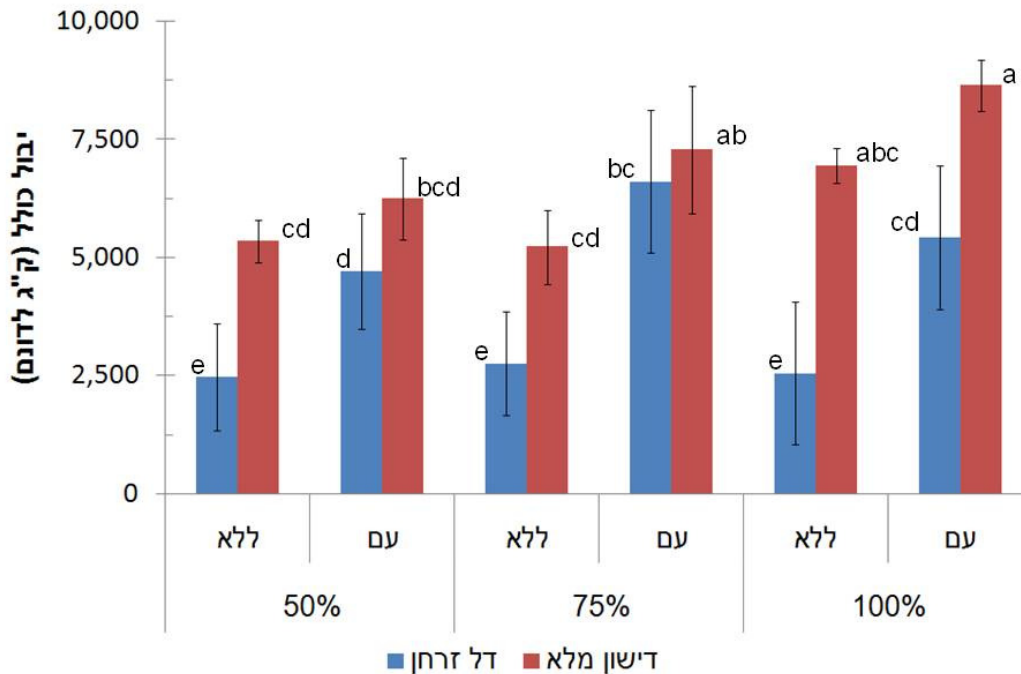


ציור 2 : פיזור היבול (ק"ג לדונם) ליצוא כתלות ביבול הכללי תוך התייחסות נפרדת לטיפולי הדישון.

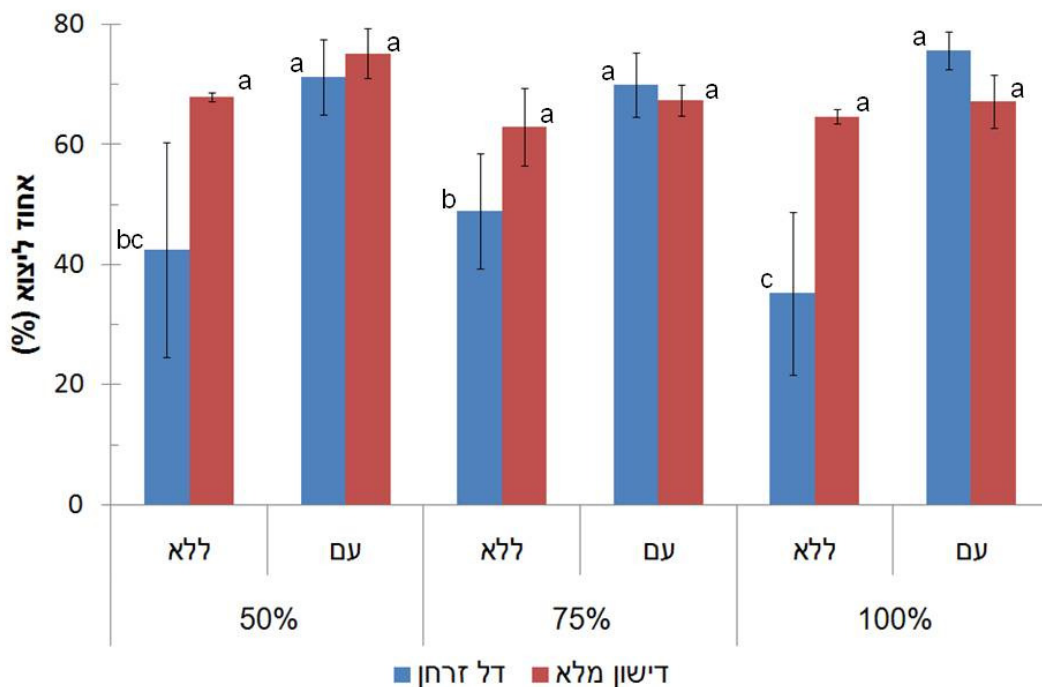
מנקודה זו ואילך בצענו ניתוח שונות לשני מודלים: (1) מודל שמכיל בתוכו את גורם הדישון ובהמשך, (2) ניתוח שונות לכל רמת דישון בנפרד.

מבט כללי על סך היבול, אחוז היבול ליצוא וכמות היבול ליצוא ניתן בציורים 3,4 ו-5 בהתאמה. קווי השגיאה הינם רווח המובהקות ברמה של 95% לכל ממוצע (רווח המובהקות 95% הוא התחום בו יש סבירות של 95% שהממוצע האמיתי (!) של הטיפול נמצא) מעניין לציין שרווחי המובהקות בטיפולי הדל זרחן גדולים יותר מהדישון המלא – עובדה שמתיישבת היטב עם אי

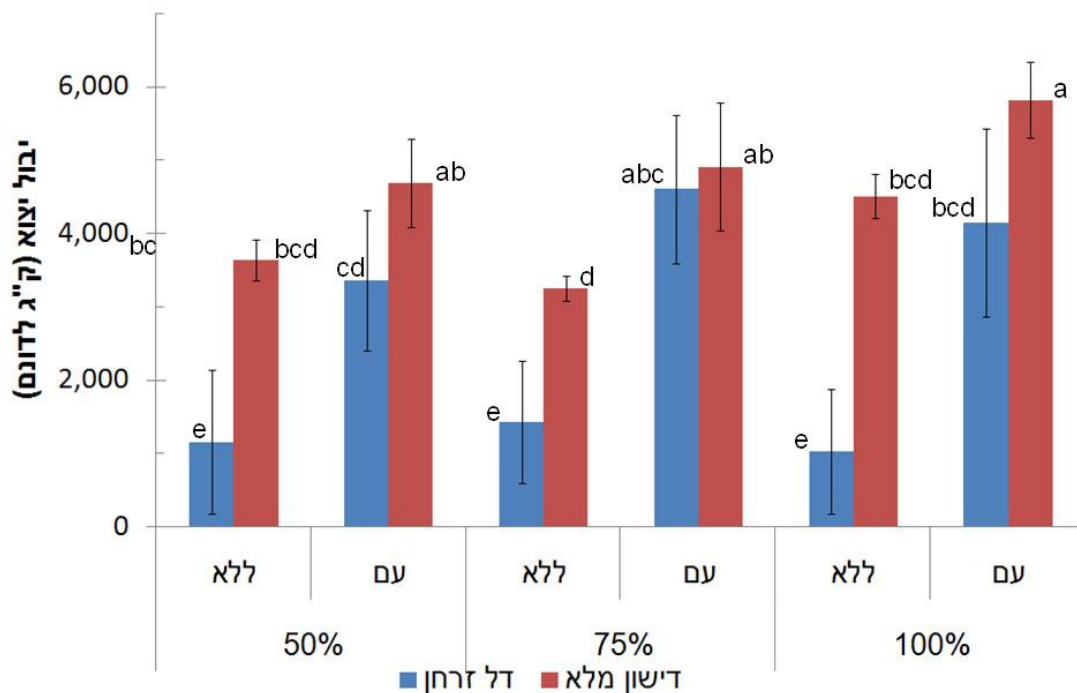
האחידות הרבה יחסית שנצפתה בטיפולים אלה יחסית לדישון המלא. אותיות המובהקות המצוינות ליד כל טיפול הינן תוצאה של ניתוח שונות חד כיווני ויש להתייחס אליהן בחשדנות. המשך הדיווח הינו ניתוח סטטיסטי של תצפיות אלה.



ציור 3 : יבול כללי כפונקציה של הטיפול כולל רווח המובהקות לממוצע (95%) (עם וללא מתייחסים למיקוריזה, האחוזים הינם טיפולי ההשקיה)



ציור 4 : אחוז היבול ליצוא כפונקציה של הטיפול כולל רווח המובהקות לממוצע (95%) (עם וללא מתייחסים למיקוריזה, האחוזים הינם טיפולי ההשקיה)



ציור 5: משקל היבול ליצוא כפונקציה של הטיפול כולל רווח המובהקות לממוצע (95%) (עם וללא מתייחסים למיקוריזה, האחוזים הינם טיפולי ההשקיה)

ניתוח ANOVA כולל רמות הדישון

המודל הליניארי שנבדק היה:

$$Y = F W(F) M(F) W * M$$

הביטויים W(F) ו-M(F) מתארים את העובדה שטיפול ההשקיה והמיקוריזה מקוננים בתוך חלקות הדישון. והם כוללים גם את גורם האינטראקציה בין משתנים אלה.

ההרצות הינן של מודל Multi-Variate – GLM.

התוצאה של ניתוח השונות מוצגת בטבלה מספר 1. ערכים לא מובהקים ברמת 5% מוארים בירוק. (הקיצור Sig. מתייחס למובהקות של התוצאה: אם הערך שמתקבל קטן יותר מערך הסף המקובל של 5% (או 0.05) אזי ההשפעה של הגורם נחשבת למובהקת בניגוד לגורמים שערך המובהקות (Sig.) גדול מ-0.05. ככל שערך זה קטן יותר, מידת המובהקות, או ההשפעה של גורם זה גדולה יותר).

ערכי הממוצעים הכלליים של דישון מלא ודל זרחן כולל מקדם ההשתנות ורווח הבר-סמך לממוצעים אלה מוצגים בטבלה 2א' – רווח בר סמך ברמת מובהקות של 95% הוא תחום שבהתבסס על תוצאות הניסוי ותחת הנחת התפלגות נורמאלית של המשתנה הנמדד, יש סבירות של 95% שהממוצע האמיתי, הלא ידוע, נמצא בתוכו. בטבלה 2ב' מוצגים ההבדלים בין היבול, אחוז היצוא והמשקל ליצוא בשתי רמות הדישון. בכל אחד משלושת המשתנים שנמדדו, הערך שנתקבל לדישון המלא נמצא מחוץ לרווח הבר סמך של דל הזרחן. ההבדלים בין הדישון המלא לדל זרחן הינם 2,532 ק"ג ליבול הכללי, 10.3% לאחוז היבול ליצוא ו-1,847 ק"ג ליבול ליצוא.

שלושת הבדלים אלה מובהקים מאד – נתונים אלה שקולים למובהקות שהוצגה בטבלת ניתוח השונות ביחס לגורם הדישון (טבלה 1).

מסקנות – רמות הדישון

ההשפעה של רמות הדישון (מלא או דל זרחן) מובהקת מאד לכל שלושת במשתנים שנמדדו. השפעת הגומלין בין מנת ההשקיה למיקוריזה (W*M) אינה מובהקת ברמת מובהקות של 95% לכל שלושת המשתנים – לא ניתן לפצות גורם אחד באמצעות הגורם השני. השפעת המיקוריזה מובהקת בכל שלושת המשתנים – היבולים עם מיקוריזה גבוהים מאלה שללא מיקוריזה. השפעת מנת ההשקיה מובהקת בהקשר של היבול הכללי ומשקל היבול ליצוא – יבולים אלה גבוהים יותר במנת המים הגבוהה יותר. אין השפעה מובהקת למנת המים על אחוז היבול ליצוא מכלל היבול. ערכי R-Squared גבוהים יחסית - המודל מתאר באופן סביר את התצפיות.

טבלה 1 – ניתוח שונות של מודל חלקות מפוצלות.

Source	Dependent Variable	df	F	Sig.
Corrected Model	Yield (kg)	9	15.63	2.90E-10
	Export (%)	9	11.61	1.70E-08
	Export (kg)	9	19.28	1.35E-11
Intercept	Yield (kg)	1	1129.23	7.18E-30
	Export (%)	1	2693.57	6.86E-37
	Export (kg)	1	958.48	1.45E-28
F	Yield (kg)	1	63.14	1.34E-09
	Export (%)	1	18.43	1.17E-04
	Export (kg)	1	65.03	9.39E-10
W(F)	Yield (kg)	2	4.36	1.97E-02
	Export (%)	2	1.17	3.22E-01
	Export (kg)	2	3.62	3.62E-02
M(F)	Yield (kg)	1	5.12	2.95E-02
	Export (%)	1	27.70	5.83E-06
	Export (kg)	1	10.61	2.37E-03
W * M	Yield (kg)	2	1.59	0.2163
	Export (%)	2	1.12	0.3381
	Export (kg)	2	1.05	0.3589
Error	Yield (kg)	38		
	Export (%)	38		
	Export (kg)	38		
Yield (kg)		R Squared = 0.787 (Adjusted R Squared = 0.737)		
Export (%)		R Squared = 0.733 (Adjusted R Squared = 0.670)		
Export (kg)		R Squared = 0.820 (Adjusted R Squared = 0.778)		

טבלה 2א': ערכי הממוצעים הכלליים של דישון מלא ודל זרחן כולל שגיאת התקן ורווח הבר-סמך לממוצעים אלה

Dependent Variable	F	Mean	Coef. Of Variation	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
Yield (kg)	דל זרחן	4089 ^b	0.055	3,632	4,545
	דישון מלא	6621 ^a	0.034	6,165	7,077
Export (%)	דל זרחן	57.3 ^b	0.030	54	61
	דישון מלא	67.6 ^a	0.025	64	71
Export (kg)	דל זרחן	2622 ^b	0.062	2,295	2,950
	דישון מלא	4470 ^a	0.036	4,142	4,798

טבלה 2ב' - השוואה בין ערכי היבול הממוצעים בשתי רמות הדישון

Dependent Variable	(I) F	(J) F	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval for	
						Lower Bound	Upper Bound
Yield(kg)		דל זרחן	2532 *	318.7	1.342E-09	1,887	3,178
Export (%)		דל זרחן	10.3 *	2.4	1.172E-04	5.5	15.2
Export (kg)		דל זרחן	1847 *	229.1	9.388E-10	1,384	2,311

Based on estimated marginal means
* - The mean difference is significant at the 0.05 level

ניתוח ANOVA לכל רמת דשן בנפרד

לאחר שהסקנו בדבר ההשפעה המובהקת שיש לגורם הדישון, בצענו ניתוח שונות בהתעלם מגורם זה, בנפרד עבור כל רמת דישון. להלן המודל הליניארי שנבדק:

$$Y = W + M + W * M$$

דל זרחן

תוצאות ניתוח השונות מוצגות בטבלה 3. ערכים לא מובהקים ברמת 5% מוארים בירוק. בטבלאות 4א' ו-4ב' מוצגים הממוצעים והשוואה בין שני טיפולי המיקוריזה בדישון הדל זרחן

טבלה 3 : ניתוח שונות של הניסוי דל הזרחן

Source	Dependent Variable	df	F	Sig.
Corrected Model	Yield (kg)- a	5	6.48	0.0013
	Export (%) - b	5	10.01	0.0001
	Export (kg) - c	5	9.93	0.0001
Intercept	Yield (kg)	1	212.27	0.0000
	Export (%)	1	670.36	0.0000
	Export (kg)	1	158.79	0.0000
W מנת השקיה	Yield (kg)	2	1.29	0.2984
	Export (%)	2	0.28	0.7582
	Export (kg)	2	1.11	0.3500
M מיקוריזה	Yield (kg)	1	28.39	0.0000
	Export (%)	1	46.21	0.0000
	Export (kg)	1	46.28	0.0000
W * M	Yield (kg)	2	0.71	0.5034
	Export (%)	2	1.64	0.2216
	Export (kg)	2	0.57	0.5773
Error	Yield (kg)	18		
	Export (%)	18		
	Export (kg)	18		

a - R Squared = 0.643 (Adjusted R Squared = 0.544)

b - R Squared = 0.735 (Adjusted R Squared = 0.662)

c - R Squared = 0.734 (Adjusted R Squared = 0.660)

טבלה 4א: ערכי הממוצעים של "עם מיקוריזה" ו"ללא מיקוריזה" בטיפול הדל זרחן כולל שגיאת התקן ורווח הבר-סמך למוצעים אלה.

Dependent Variable	M	Mean כולל מובהקות	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
Yield (kg)	ללא	2593 ^b	396.9	1,760	3,427
	עם	5584 ^a	396.9	4,750	6,418
Export (%)	ללא	42 ^b	3.1	36	49
	עם	72 ^a	3.1	66	79
Export (kg)	ללא	1207 ^b	294.3	588	1,825
	עם	4038 ^a	294.3	3,420	4,657

טבלה 4ב: ההפרש בין ערכי היבול הממוצעים בשני טיפולי המיקוריזה ("עם מיקוריזה" פחות "ללא מיקוריזה" בחלקת ה"דל זרחן").

Dependent Variable	(I) M	(J) M	Mean Difference (I-J)	Sig.(a)	95% Confidence Interval for Difference(a)	
					Lower Bound	Upper Bound
Yield (kg)	עם	ללא	2,990*	4.59E-05	1,811	4,170
Export (%)	עם	ללא	30.1*	2.29E-06	20.8	39.4
Export (kg)	עם	ללא	2,832*	2.27E-06	1,957	3,706

* - The mean difference is significant at the 0.05 level.

a - Adjustment for multiple comparisons: Least Significant Difference (equivalent to no adjustments).

מסקנות דל זרחן

היבול הכללי בטיפול עם המיקוריזה גדול מהיבול הכללי בטיפול ללא מיקוריזה ב- 2,990 ק"ג. ההבדל כנ"ל ביבול ליצוא הוא 2,832 ק"ג. ההבדל באחוזי היבול ליצוא מכלל היבול הכללי הוא 30.1% - שלושת הבדלים אלה מובהקים מאד.

ניתוח השונות לנתוני הדישון הדל זרחן מראה את אי המובהקות הסטטיסטית של מנת ההשקיה בטיפול זה (דל זרחן) – הדישון החסר הוא כנראה הגורם המגביל העיקרי שממסך את האפקט של מנת ההשקיה.

השפעת הגומלין של מנת ההשקיה עם המיקוריזה אינה מובהקת – תוצאה ישירה לאי המובהקות של ההשקיה. הגורם היחיד שישפיע על היבול הוא הוספת או אי הוספת המיקוריזה (M 1 או 0 בהתאמה). העובדה שמנת ההשקיה בניסוי זה אינה מובהקת והינה מובהקת בניתוח הכולל (טבלה 1) מעידה שאנו צפויים להשפעה מובהקת של מנת ההשקיה בטיפול הדישון המלא. המודל הלינארי מסביר את התצפיות טוב פחות מאשר גורם הדישון היה בתמונה – עובדה זו מתיישבת היטב עם העובדה שההבדלים בין החלקות השונות בטיפול דל הזרחן היו בולטים במיוחד.

דישון מלא

תוצאות ניתוח השונות מוצגות בטבלה 5. ערכים לא מובהקים ברמת 5% מוארים בירוק.

טבלה 5 – ניתוח שונות של ניסוי הדישון המלא, $R^2=0.661$

Source	Dependent Variable	df	F	Sig.
Corrected Model	Yield (kg)	5	9.96	0.0001
	Export (%)	5	4.64	0.0068
	Export (kg)	5	12.17	2.95E-05
Intercept	Yield (kg)	1	1566.74	0.0000
	Export (%)	1	7230.00	0.0000
	Export (kg)	1	1724.32	2.50E-19
W מנת השקיה	Yield (kg)	2	13.16	0.0003
	Export (%)	2	6.40	0.0080
	Export (kg)	2	10.42	9.87E-04
M מיקוריזה	Yield (kg)	1	21.42	0.0002
	Export (%)	1	8.92	0.0079
	Export (kg)	1	38.69	7.21E-06
W * M	Yield (kg)	2	1.04	0.3738
	Export (%)	2	0.75	0.4869
	Export (kg)	2	0.65	5.33E-01
Error	Yield (kg)	18		
	Export (%)	18		
	Export (kg)	18		

a - R Squared = 0.735 (Adjusted R Squared = 0.661)

b - R Squared = 0.563 (Adjusted R Squared = 0.442)

c - R Squared = 0.772 (Adjusted R Squared = 0.708)

טבלה 6א': ערכי הממוצעים של טיפולי מנות ההשקיה בטיפול הדישון המלא

Dependent Variable	מנת ההשקיה (%)	Mean כולל מובהקות	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
Yield (kg)	50	5799 ^b	289.7	5,190	6,408
	75	6259 ^b	289.7	5,650	6,868
	100	7805 ^a	289.7	7,197	8,414
Export (%)	50	71.6 ^a	1.4	69	75
	75	65.3 ^a	1.4	62	68
	100	66 ^b	1.4	63	69
Export (kg)	50	4163 ^b	186.4	3,771	4,554
	75	4083 ^b	186.4	3,692	4,475
	100	5163 ^a	186.4	4,771	5,555

טבלה 6ב': ההפרש בין ערכי היבול הממוצעים בטיפולי מנות ההשקיה בחלקת ה"דישון המלא"

Dependent Variable	W(%) I	W(%) J	Mean Difference (I-J)	Sig.(a)	95% Confidence Interval for Difference(a)	
					Lower Bound	Upper Bound
Yield (kg)	100	50	2,006*	1.16E-04	1,145	2,867
	100	75	1,546*	0.001	685	2,407
	75	50	460	0.276	-401	1,321
Export (%)	100	50	-5.6*	9.81E-03	-10	-2
	100	75	1	0.705	-3	5
	75	50	-6.4*	0.004	-10	-2
Export (kg)	100	50	1,000*	1.33E-03	446	1,554
	100	75	1,078*	0.001	526	1,634
	75	50	-79	0.767	-633	475

* - The mean difference is significant at the .05 level.

a - Adjustment for multiple comparisons: Least Significant Difference (equivalent to no adjustments).

טבלה 7א' – ערכי הממוצעים של טיפולי מנות המיקוריזה בטיפול הדישון המלא.

Dependent Variable	M מיקוריזה	Mean כולל מובהקות	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
Yield (kg)	ללא	5847 ^b	236.6	5,350	6,344
	עם	7395 ^a	236.6	6,898	7,892
Export (%)	ללא	65.2 ^b	1.1	63	68
	עם	70 ^a	1.1	68	72
Export (kg)	ללא	3800 ^b	152.2	3,480	4,120
	עם	5139 ^a	152.2	4,819	5,459

טבלה 7ב': ההפרש בין ערכי היבול הממוצעים בטיפול המיקוריזה בחלקת ה"דישון המלא".

Dependent Variable	(I) M	(J) M	Mean Difference (I-J)	Sig.(a)	95% Confidence Interval for Difference(a)	
					Lower Bound	Upper Bound
					Yield (kg)	עם
Export (%)	עם	ללא	4.7*	0.0079	1.4	8.1
Export (kg)	עם	ללא	1339*	7E-06	887	1,791

* - The mean difference is significant at the 0.05 level.

a - Adjustment for multiple comparisons: Least Significant Difference (equivalent to no adj)

מסקנות דישון מלא

בטיפול ההשקיה יש הבדל מובהק כשהמשתנה הוא משקל היבול (כללי ויצוא) בין השקיה במנה של 100% מההמלצות ל- 75% ו- 50%. אין הבדל מובהק בין 75% ל- 50%. כשהמשתנה הנבדק הוא אחוז היבול ליצוא אין הבדל מובהק בין מנת השקיה של 100% ל- 75% אך שתיהן נבדלות מה- 50%. בטיפול המיקוריזה יש הבדל מובהק בין הוספת או אי הוספת הפטרייה בכל הגורמים הנבדקים.

ההשפעה של מנת ההשקיה (W) וטיפול המיקוריזה (M) מאד מובהקת ומשמעותית בטיפול הדישון המלא. גורם השפעת הגומלין של מים ומיקוריזה (W*M) לא מובהק – לא ניתן ל"פצות" על היעדר מיקוריזה באמצעות הגלת מנת ההשקיה. מידת ההסבר של המודל הלינארי את האחוז ליצוא אינה טובה דיה. בטבלאות 6א' ו- 6ב' מוצגים הממוצעים של טיפולי ההשקיה בדישון המלא וההשוואות בניהם. בטבלאות 7א' ו- 7ב' מוצגים הממוצעים של טיפולי המיקוריזה בדישון המלא וההשוואות בניהם.

השפעת משטר הדישון וההשקיה על תמיסת מי הקרקע

בעזרת משאבים שהוטמנו בטיפולים השונים בעומקים של 15 ו- 30 ס"מ עקבנו אחרי השתנות ריכוז המלחים בקרקע בטיפולים השונים. ריכוז המלחים בתמיסת הקרקע מבוטא באמצעות המוליכות החשמלית של תמיסת הקרקע (EC).

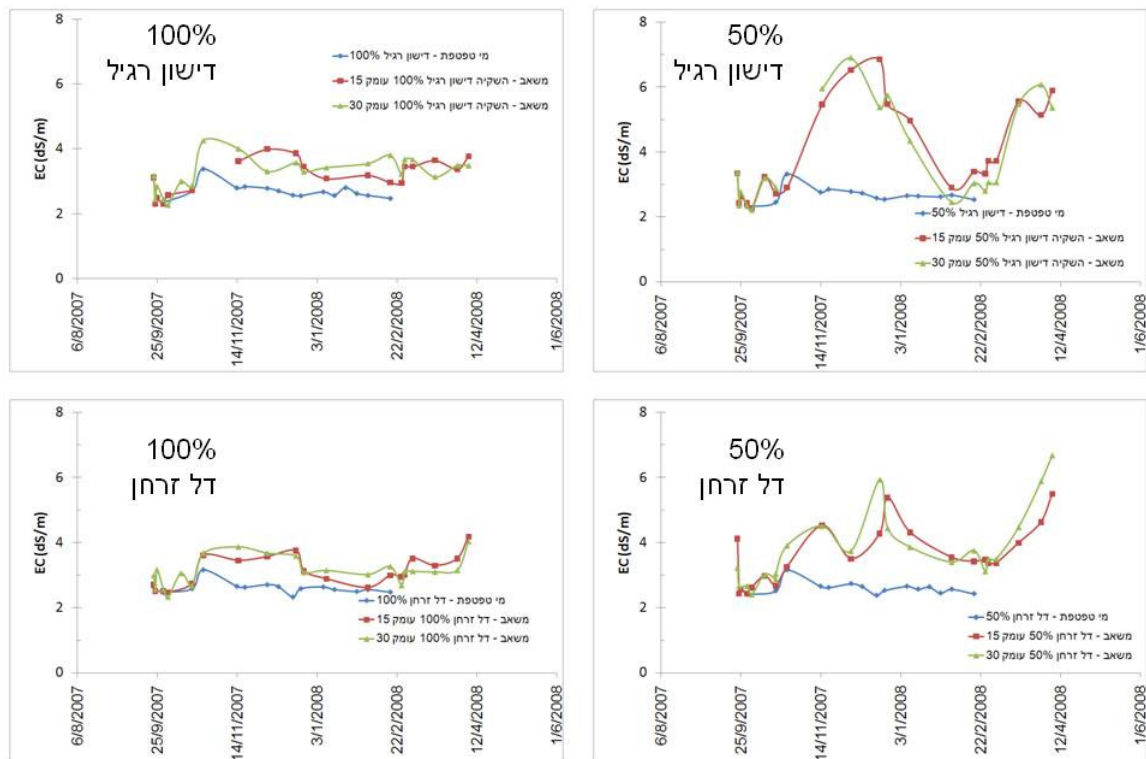
הגרפים בציר 6 להלן הינם מוליכות תמיסת הקרקע בשני עומקים: 15 ו- 30 ס"מ בשני טיפולי הדישון (דישון רגיל ודל זרחן) ובשתי מנות ההשקיה (50%-100%) ביחס לנתוני התאדות מגיגית, (חשוב לציין שההשקיה של 50% תוכננה כך שהיא לא תהיה קטנה מ- 2.5 מ"מ ליום). ריכוז המלחים במי הטפטפת מוצג גם הוא בכל הגרפים.

א. ניכר הבדל בין השקיה 100% ל- 50% : בהשקיה של 100%, ריכוז תמיסת הקרקע נשאר קבוע יחסית במהלך עונת הגידול בעוד הוא משתנה, עולה ויורד, במהלך העונה כאשר מנת ההשקיה הייתה רק 50% מנתוני ההתאדות. המסקנה היא שהשקיה במנת 100% משמשת לא רק לצריכת הצמח אלא גם לדחיקת המלחים אל מתחת לבית השורשים.

ב. לא ניכרו הבדלים משמעותיים במוליכות החשמלית בין עומק 15 ל- 30 ס"מ.

ג. מידת העלייה בריכוז המלח של תמיסת הקרקע בהשקיית ה- 50% הייתה קטנה יותר בדישון דל הזרחן מזו של הדישון הרגיל. נוסף לתצפית זו את ההבדלים שנצפו ביבול בין שתי רמות הדישון ובעוצמת הצימוח וזה יסביר את ההבדלים: הצמחים שדושנו בדישון הרגיל התפתחו היטב וצריכת המים שלהם הייתה גבוהה מאלה שטופלו בדל זרחן, לכן הם צרכו את רוב מי ההשקיה כך שלא נותרו מים לדחיקת מלחים אל מתחת לבית השורשים. ההיפך נכון לצמחים שקיבלו את הטיפול "דל הזרחן", שם חלק ממי ההשקיה שימש לדחיקת מלחים.

ד. התצפית המשמעותית ביותר בניסוי זה היא ההשתנות של ריכוז המלחים בתמיסת הקרקע במהלך העונה בטיפול ההשקיה 50% (גם דישון רגיל וגם דל זרחן): עליה בריכוז עד סוף דצמבר, לאחר מכן ירידה בריכוז עד אמצע פברואר ועליה חוזרת בסוף החורף ובאביב עד סוף עונת הגידול. עליה בריכוז מעידה על מתן יסודות הזנה בעודף ביחס ליכולת הקליטה של הצמח או היעדר שטיפה (הדחה) הולמת. בהקשר זה יש לציין שנתוני ההתאדות מגיית בתקופת החורף (דצמבר עד פברואר) היו קטנים כך שרוב הזמן החלקה הושקתה במנה של 2.5 מ"מ ליום למרות ההתאדות (והצריכה) הקטנים. בשלב זה, חלק ניכר ממי ההשקיה שימש לדחיקת מלחים כך שריכוז תמיסת מי הקרקע הלך וירד עד לאמצע פברואר. בתקופה זו, סוף החורף ותחילת האביב התחילה עליה בהתאדות ובקליטת מים על ידי הצמח כך ששוב החלה הצטברות של מלחים בנפח בית השורשים.



ציר 6: המוליכות החשמלית (EC) של מי הטפטפת ועומקים 15, ו- 30 ס"מ בטיפול הדישון ובשתי מנות השקיה – 50% ו- 100%.

מסקנות כלליות

- טיפולי הדישון משפיעים באופן מובהק על היבול – היבול בדישון המלא גבוה מאשר בדישון דל זרחן
- בכל רמת ניתוח שהיא אין השפעת גומלין מובהקת למנת ההשקיה והוספה או אי הוספה של מיקוריזה.
- בטיפול הדל זרחן:
 - ההשפעה היחידה המובהקת היא של המיקוריזה – הוספה של מיקוריזה העלתה את היבול
 - אין השפעה למנת ההשקיה בטיפול הדל זרחן.
- בטיפול הדישון המלא
 - יש השפעה למנת ההשקיה (100% טובה יותר מהשתיים האחרות שאינן נבדלות זו מזו)
 - יש השפעה למיקוריזה – הוספת מיקוריזה העלתה את היבול.
 - לא ניתן לפצות על היעדר מיקוריזה בהשקיה.

מילה על כלכלה: אם נתייחס למספרים שנתקבלו בניסוי זה כאל מצב אמיתי – התוספת של יבול ליצוא עקב הוספת מיקוריזה בתנאי דישון מלא שקולה ל- 1,339 ק"ג לדונם. נכפיל מספר זה ב- 5 שם לקילוגרם כאומדן סביר ונקבל תוספת פדיון בהיקף של כ- 6,700 ש"ח לדונם. כפול 45 דונם למשק והנה לנו תוספת נאה של כ- 315,000 ש"ח למשק בתמורה להשקעה של כ- 150 ש"ח לדונם או 6,750 ש"ח להדבקה בפטריית הקרקע שטחים בהיקף של 45 דונם.

הבעת תודה

תודה למשתלות חישתיל על שיתוף הפעולה הפורה ביישום המיקוריזה לשתילים.

מקורות

Sweatt, M. R. and Davies, F. T. Jr 1984 Mycorrhizae, water relations, growth and nutrient uptake of geraniums grown under moderately high phosphorus regimes. J. Am. Soc. Hort. Sci. 109: 210–213.